



## UTICAJ SEZONSKIH VARIJACIJA NA FIZIČKO-HEMIJSKE PARAMETRE KVALITETA VODE REKE DUNAV KOD NOVOG SADA

### APSTRAKT

Tokom proteklih decenija pod uticajem klimatskih promena primećeno je zagrevanje jezera i reka. Pretpostavlja se da će u narednom periodu temperature površinskih voda biti veće, da će se povećati intenzitet padavina u nekim područjima, da će u sušnom periodu biti duži periodi niskih vodostaja reka i da će doći do povećanja brojnih oblika zagađenja vode. Sezonske varijacije i klimatske promene imaju uticaj na procese koji se odvijaju u akvatičnim ekosistemima, zdravlje ljudi i pouzdanost tehnologije pripreme vode za piće, kao i povećanje operativnih troškova upravljanja vodnim sistemima. Kako bi se na vreme preduzele adekvatne mere za prilagođavanje na klimatske promene, pred Međunarodnu komisiju za zaštitu reke Dunav (eng. *International Commission for the Protection of the Danube River* - ICPDR) je, usvajanjem Dunavske deklaracije, postavljen zadatak da razvije Strategiju za prilagođavanje klimatskim promenama u slivu reke Dunav do 2012 godine. U radu je prikazan pregled uticaja sezonskih varijacija na fizičko-hemijske parametre kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada u periodu od 2005-2018. godine.

**Ključne reči:** kvalitet vode, Dunav, sezonske varijacije

### 1. KVALITET VODE REKE DUNAV-ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA

Monitoring kvaliteta površinskih voda započeo je u Srbiji šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka. Zahvaljujući razvijanju sistema monitoringa definisane su mnoge lokacije na vodotoku, a rezultati merenja na ovim lokacijama mogu poslužiti kao dobra osnova za vremenske i prostorne analize sa aspekta dugoročnih promena stanja kvaliteta vode (Sl.glasnik RS, 2017).

Tokom protekle dve decenije postojao je i veći broj međunarodnih monitoring kampanja u kojima su izvršene procene uticaja različitih ispuštanja otpadnih voda u Dunav (komunalne i industrijske otpadne vode, efekti prisustva deponija u blizini vodotoka, elektrana i dr.), kao i difuznog zagađenja (poljoprivreda). Jedna od najznačajnijih kampanja u tom smislu je bila Joint Danube Survey koja je sprovedena do sada četiri puta, tokom 2001., 2007., 2013. i 2019. godine. U period 2001-2013. god. istraživanje je obuhvatalo 68 lokacija na kojima je vršeno uzorkovanje vode, suspendovanih materija i sedimenta, i ispitan je njihov sastav, prisustvo zagađujućih materija, kao i hidrobiološko stanje reke. Podaci koji su na ovaj način

prikupljeni i analizirani predstavljaju dobru osnovu za procenu stanja Dunava i analizu trendova (ICPDR 2002, 2008, 2015).

U proteklom periodu nije samo započeto definisanje izvora zagađenja, već je i čitav region pretrpeo značajne društvene i ekonomske promene, uključujući i promene u industriji i poljoprivredi. Čak i danas su promene koje se dešavaju veoma intenzivne, naročito kada su u pitanju regulative u oblasti zaštite životne sredine u pojedinim zemljama Dunavskog sliva (npr. programi vezani za zaštitu površinske i podzemne vode, razvoj velikih kanizacionih sistema i projekata za tretman otpadnih voda i dr.). Nedvosmisleno se može tvrditi da je u regionu Centralnoistočne Evrope (od početka 1990. godine) zagađenje Dunava smanjeno za nekoliko redova veličine. Kao posledica toga, ekološki, hidrobiološki i hemijski status Dunava se značajno poboljšao tokom proteklih decenija. Ove je jednim delom posledica značajnih investicija u oblasti teške industrije i zaštite životne sredine, kao i stalnog porasta cene komunalnih usluga (cena vode i kanizacione takse) (ICPDR, 2015).

Jelena MOLNAR JAZIĆ, Aleksandra TUBIĆ, Marijana KRAGULJ ISAKOVSKI, Snežana MALETIĆ, Dejan KRČMAR, Tamara APOSTOLOVIĆ, Jasmina AGBABA, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, e-mail: aleksandra.tubic@dh.uns.ac.rs



Uprkos već navedenom pozitivnom razvoju, u slivu Dunava će i dalje postojati industrijski, komunalni i poljoprivredni izvori zagađenja, koji potencijalno mogu da ugroze kvalitet reke i indirektno utiču na obalsku filtraciju. Pored tačkastih izvora zagađenja, industrijskog i komunalnog porekla, moraju se uzeti u obzir i difuzni izvori zagađenja. Ovo se uglavnom odnosi na poljoprivredne izvore (skladišta organskog đubriva, ocedne vode iz stočarstva, skladištenje đubriva, i dr.). Karakterističan uticaj na životnu sredinu iz ove vrste izvora zagađenja jeste povećano opterećenje zemljišta i podzemnih voda azotom i fosforom (Sommerwerk et al., 2009).

Uzimajući u obzir promene u kvalitetu vode, uočena je dobra korelacija između srednje godišnje temperature ambijentalnog vazduha i temperaturnih promena vode Dunava. Trend povećanja temperature vode je najveći tokom perioda kritično niskog vodostaja (npr. u avgustu), kada je potreba za vodom najveća, a obezbeđivanje zdravstveno bezbedne vode za piće je apsolutno neophodno. Takođe, može se uočiti i povećanje vrednosti maksimalne godišnje temperature vode (ICPDR, 2015).

Zahvaljujući već istaknutom razvoju, kvalitet Dunava se značajno popravio sa aspekta opštih hemijskih parametara od šezdesetih godina prošlog veka. Smer i stepen poboljšanja razlikuje se u zavisnosti od komponente i veoma je heterogen.

Vodu Dunava karakteriše nizak sadržaj organskih materija. U isto vreme registrovana je pojava novih polutanata kao što su hormoni, pesticidi i dr. Indikatori ispuštanja komunalnih otpadnih voda (mikrobiološki parametri, nutrijenti i dr.) jasno ukazuju na potrebu za daljim unapređivanjem postojećih tretmana i uspostavljanjem tercijarnog tretmana. Bez ovoga se ne može očekivati poboljšanje kvaliteta u srednjem i donjem toku reke Dunav (ICPDR, 2015).

Dugoročne promene vrednosti parametara kao što je rastvoreni kiseonik, organske materije i amonijak mogu da utiču na kvalitet vode koja se dobija obalskom filtracijom, što može imati za posledicu potrebu za uvođenjem dodatnih tretmana nakon obalske filtracije, a pre distribucije vode. Organski polutanti prisutni u Dunavu mogu da izazovu dodatne probleme u obalskoj filtraciji zbog toga što biodegradacija ovih jedinjenja u aktivnoj zoni obalske filtracije može značajno smanjiti količinu kiseonika i dovesti do formiranja anaerobnih uslova. Rezultati dobijeni tokom JDS3 kampanje ukazuju na promene u pojavi organskog zagađenja duž reke. pH vrednost i rastvoreni kiseonik su pokazali dobru pozitivnu korelaciju sa primarnom produkcijom organske materije i njenom degradacijom. Koncentracija i zasićenost rastvorenim kiseonikom blizu je stanja ravnoteže. Na osnovu analitičkih rezultata srednjeg toka Dunava registrovano je sporo i blago poboljšanje kvaliteta vode sa aspekta parametara indikatora

organskog zagađenja. Kao posledica ovoga povećava se koncentracija i zasićenost rastvorenim kiseonikom.

Sa aspekta snabdevanja vodom za piće azotne forme (nitriti, nitrati, amonijak) imaju posebnu važnost, jer predstavljaju rizik po zdravlje ljudi. JDS analiza je pokazala da je koncentracija amonijum jona i nitrita u Dunavu veoma niska, blizu granice detekcije metode. Koncentracija nitrita i ukupnog azota pokazuje trend opadanja idući od gornjeg ka donjem toku reke, uz negativnu korelaciju sa protokom u reci, dok za koncentracija fosfora nije zabeležen neki poseban trend. Nešto niže koncentracije su izmerene u donjem toku (ICPDR 2008, 2015).

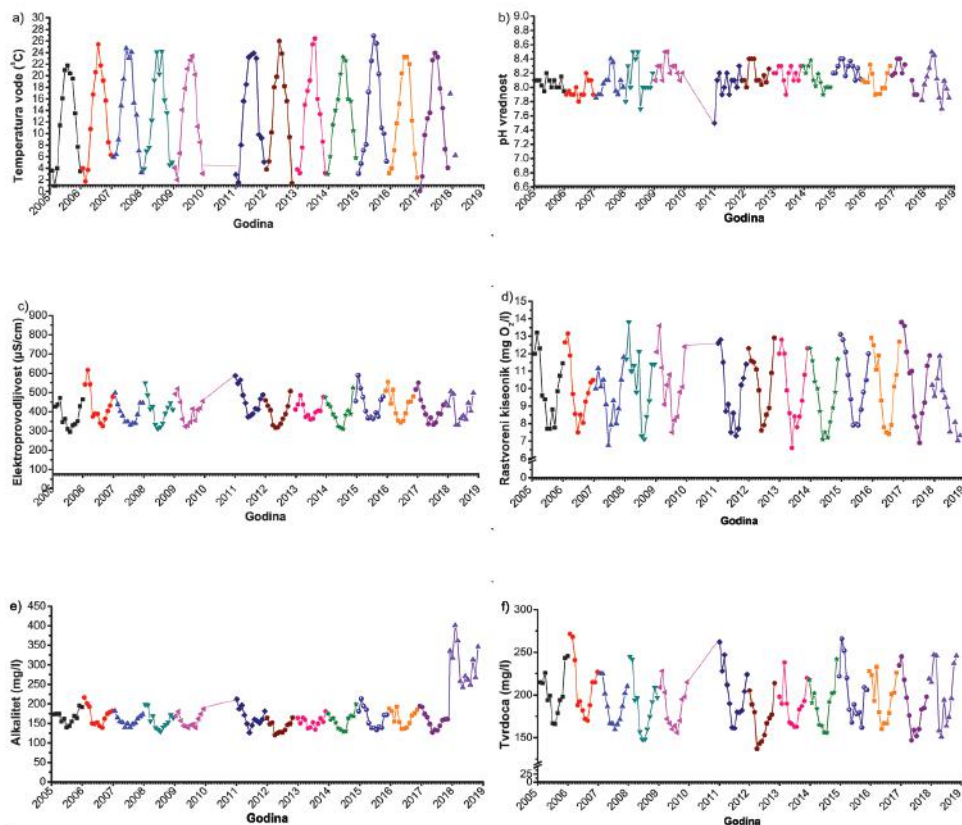
Promene koncentracije nutrijenata tokom vremena u srednjem toku Dunava su slične sa promenama zabeleženim kod potrošnje kiseonika. U nekim slučajevima je zabeležen i nešto drastičniji pad koncentracije. Ovo je posledica poboljšanja tretmana komunalnih otpadnih voda (nitrifikacija i precipitacija fosfora na postrojenju za tretman). Takođe, poljoprivredna aktivnost u gornjem toku Dunava se značajno promenila, a dospevanje veštačkih đubriva u vodu je mnogo bolje kontrolisano. Jedini izuzetak je nitrat, čija koncentracija se konstantno povećava tokom proteklih decenija. Kvalitet vode reke Dunav odgovara kategoriji dobrog ekološkog statusa prema EU WFD sa aspekta sadržaja amonijum jona, nitrita i nitrata. Jedno od najvećih poboljšanja zabeleženo je kroz značajno smanjenje koncentracije rastvorenog ortofosfata od početka devedesetih godina prošlog veka do danas, tako da kvalitet vode Dunava sa aspekta ovog parametra ima status dobrog kvaliteta (WFD klasifikacija).

Dosadašnja istraživanja su pokazala da oblici azota i fosfora ne predstavljaju rizik za izvođenje obalske filtracije duž toka Dunava. Izmerene koncentracije amonijum jona, nitrita i nitrata su niže od propisanih standardima za vodu za piće. Međutim, na osnovu redoks potencijala se može zaključiti da se ove forme mogu transformisati jedna u drugu u procesu obalske filtracije, zbog čega zagađenje na tim mestima može biti značajno (npr. plitke podzemne vode bogate nitratima).

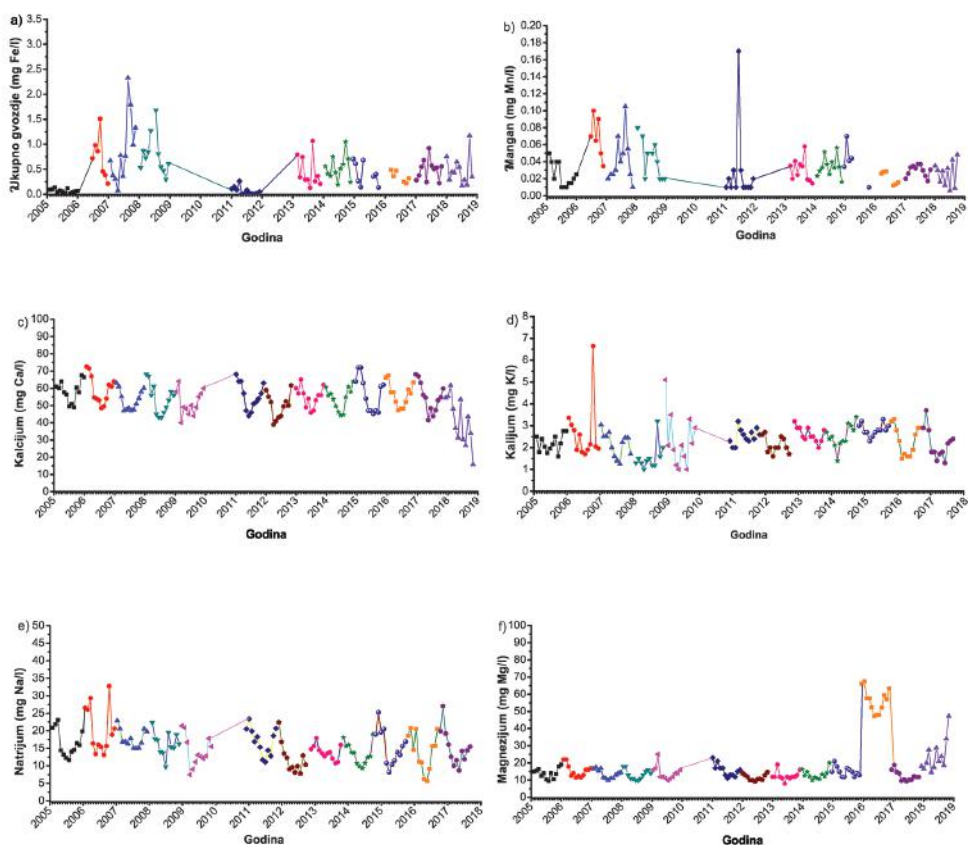
## 2. ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA O KVALITETU VODE REKE DUNAV (KOD NOVOG SADA) ZA PERIOD 2005-2018. GODINE

U radu je dat pregled kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada za period 2005-2018. godine na osnovu fizičko-hemijskih parametara, a rezultati su prikazani na slikama 1-5. Podaci su preuzeti iz izveštaja Agencije za zaštitu životne sredine ([www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs)).

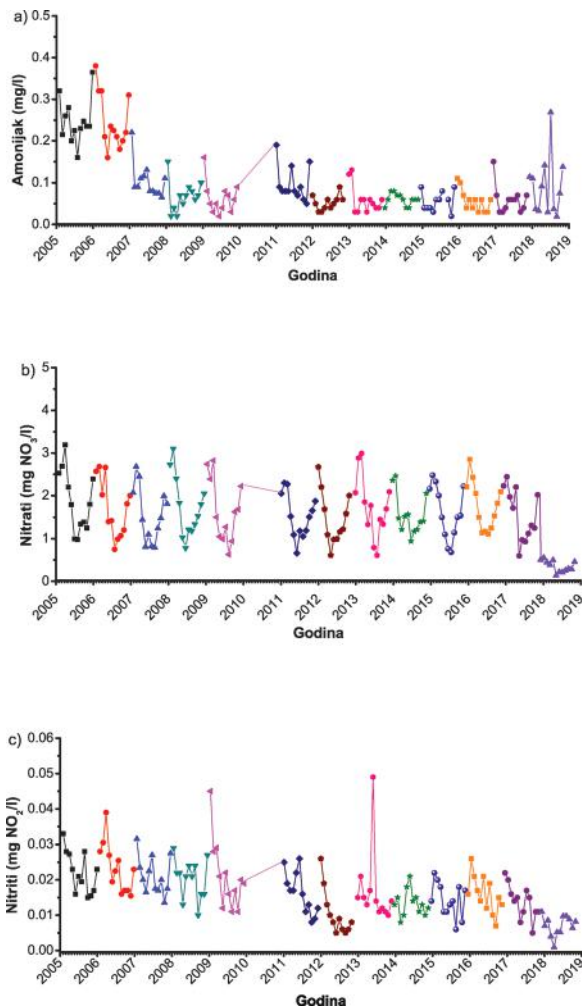
Temperatura vode Dunava varira u zavisnosti od godišnjeg doba i kretala se u opsegu od 0,1-26,4 °C. Trend promene temperature vode sličan je iz godine



**Slika 1.** Fizičko-hemijski parametri vode Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine: (a) temperature, (b) pH, (c) elektrovodljivost, (d) sadržaj kiseonika, (e) alkalitet i (f) tvrdoća



**Slika 2.** Sadržaj (a) ukupnog gvožđa, (b) mangana, (c) kalcijuma, (d) kalijuma, (e) natrijuma i (f) magnezijuma u vodi Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine



**Slika 3.** Sadržaj (a) amonijaka, (b) nitrata i (c) nitrita u vodi Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine

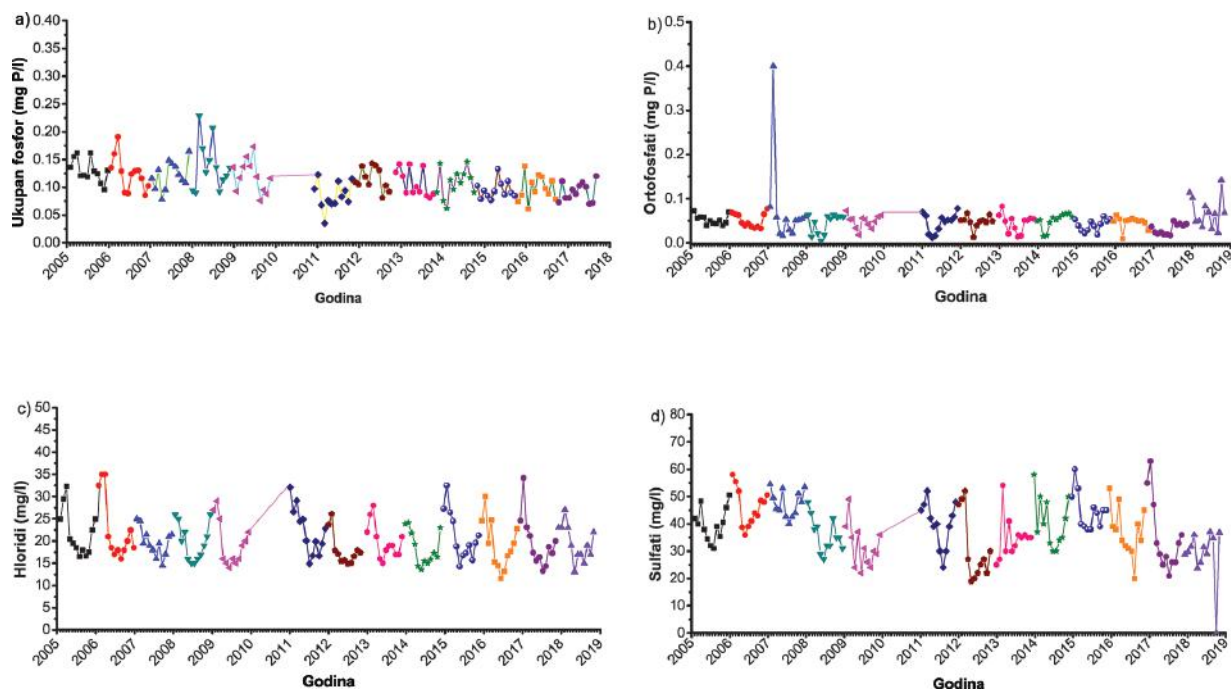
u godinu i jedino što se ističe, jeste da je temperatura vode bliska 0 °C zabeležena samo jednom i to 2017. god (slika 1a). pH vrednost se kretala u opsegu od 7,4-8,5 što je u granicama uobičajenih vrednosti za površinske vode (slika 1b). Elektroprovodljivost vode Dunava kod Novog Sada fluktuirala je u granicama od 295-617  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , zavisno od godišnjeg doba (slika 1c). Značajnija odstupanja od uobičajenog godišnjeg trenda za posmatrani period nisu uočena. Sadržaj kiseonika u vodi u bio je u proseku  $10,0 \pm 1,8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ). Minimalne vrednosti ( $6,5-7,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ), tokom godine, beleže se u letnjim mesecima, dok su maksimalne vrednosti ( $13-14 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) karakteristične za zimski period (januar i decembar) (slika 1d). Vrednost alkaliteta vode kretala se u opsegu od 120-217 mg/l (slika 1e). Niže vrednosti su uglavnom zabeležene u toplijim mesecima, dok su više vrednosti izmerene u zimskom periodu. Može se uočiti da su tokom 2018. godine izmerene značajno veće vrednosti za alkalitet vode ( $250-400 \text{ mg/l}$ ), što je verovatno posledica različite lokacije uzorkovanja. Tvrdoća vode kreće se u opsegu od 137-271 mg/l (slika 1f). Trend promene ovog parametra tokom godine prati promenu

alkaliteta vode, uz minimalne vrednosti uglavnom u letnjim periodima, a maksimalne u zimskim.

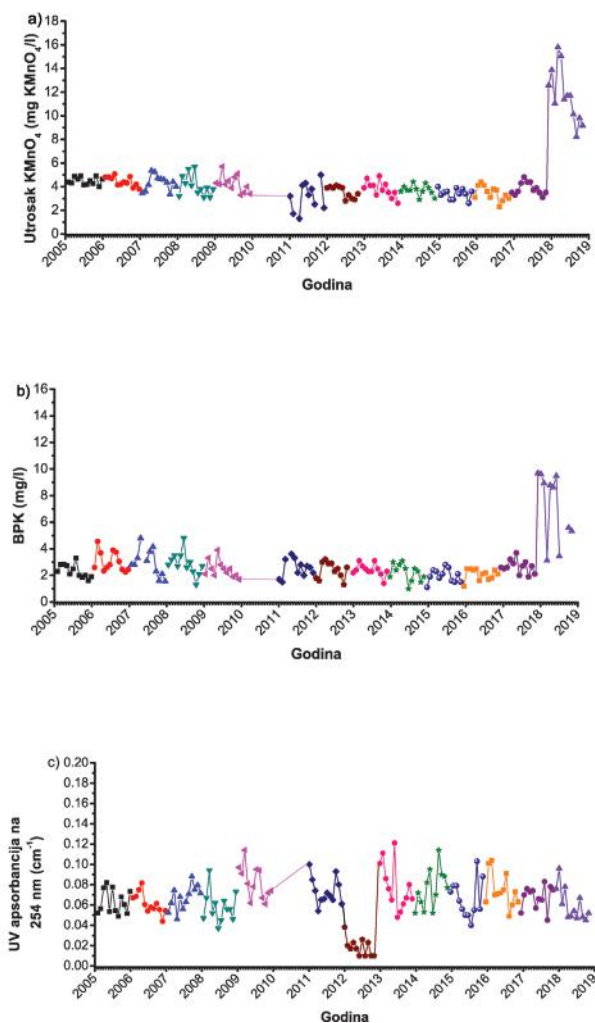
Sadržaj gvožđa i mangana u vodi reke Dunav kod Novog Sada (slike 2a i 2b) kretao se do maksimalno 2,5 mg/l Fe i 0,17 mg/l Mn, redom. Minimalne vrednosti gvožđa su izmerene tokom 2005. i 2011. godine, dok su maksimumi izmereni u septembru 2006., 2007. i 2008. godine. Može se uočiti da su i izmerene koncentracije mangana u periodu od 2006-2009. godine bile više u odnosu na prethodnu godinu. Generalno je sadržaj gvožđa i mangana niži u vodi Dunava u periodu od 2012-2018. godine, u odnosu na raniji period. Koncentracije kalcijuma, kalijuma, natrijuma i magnezijuma (slike 2c-2f), ukazuju da sadržaj navedenih metala varira u uskim granicama tokom godine, pri čemu su srednje godišnje vrednosti iznosile  $53,8 \pm 9,11 \text{ mg/l Ca}$ ,  $2,34 \pm 0,74 \text{ mg/l K}$ ,  $15,5 \pm 4,69 \text{ mg/l Na}$  i  $17,8 \pm 12,3 \text{ mg/l Mg}$ . Koncentracije svih navedenih metala u vodi su nešto veće na početku i na kraju godine, dok su u prolećnim i letnjim mesecima niže. Generalno su nešto više koncentracije izmerene u periodu od 2005-2010. godine, sa tendencijom blagog smanjenja u periodu od 2012-2018. godine. Ovaj trend ne važi za sadržaj magnezijuma, koji je značajno veći tokom 2016. i 2018. godine, u odnosu na sve druge godine koje su praćene.

Sadržaj azotnih materija praćen je preko koncentracije amonijačnog azota, nitrata i nitrita u vodi (slika 3a-3c). Koncentracija azotnih materija fluktuirala tokom godine u zavisnosti od godišnjeg doba. Generalno, dobijeni rezultati ukazuju na to da se sadržaj azotnih materija u vodi Dunava smanjuje tokom godina, što je u skladu sa zaključcima koji su dobijeni i za druge delove Dunava, uzvodno i nizvodno od Novog Sada. Najveći trend smanjenja se uočava kod amonijaka, osim za 2018. godinu, ali to može biti posledica razlike u lokacijama na kojima je voda uzorkovana. Sadržaj amonijačnog azota se smanjuje sa prosečnih  $0,14 \pm 0,09 \text{ mg/l}$  u periodu od 2005-2011. godiine, na prosečnu vrednost od  $0,06 \pm 0,04 \text{ mg/l}$  za period od 2012-2018. godine. Prosečna godišnja koncentracija nitrata iznosi  $1,69 \pm 0,7 \text{ mg/l}$ , a nitrita  $0,017 \pm 0,008 \text{ mg/l}$ . Najveće koncentracije nitrita izmerene su u proleće 2006., 2009. i 2013. godine.

Sadržaj fosfatnih materija (slika 4a,b) u vodi Dunava generalno se kreće ispod 0,2 mg P/l ukupnih fosfata i ispod 0,1 mg P/l ortofosfata. Varijacije tokom godine nisu značajne. Sadržaj ukupnog fosfora se blago smanjuje u period od 2012-2018. godine, u odnosu na prethodni period, što je u skladu sa zaključcima drugih istraživanja i podržava tvrdnje da se kvalitet vode reke Dunav poboljšao, usled primene sve većeg broja postrojenja za tretman otpadnih voda u državama kroz koje ova reka prolazi, pre ulaska u Republiku Srbiju. Koncentracija hlorida u vodi reke



**Slika 4.** Sadržaj (a) ukupnog fosfora, (b) ortofosfata, (c) hlorida i (d) sulfata u vodi Dunava (Novi Sad) u periodu 2005-2018. godine



**Slika 5.** Sadržaj organskih materija u vodi Dunava (Novi Sad, 2005-2018. god): (a) permanganatni broj, (b) BPK i (c)  $UV_{254}$

Dunav (slika 4c), kod Novog Sada, tokom perioda 2005-2018. godine kreće se u opsegu od 13-35 mg/l. Sezonske varijacije su uočljive, pri čemu su najviše vrednosti izmerene početkom godine, nakon čega koncentracija hlorida postepeno opada. Sadržaj sulfata u vodi reke Dunav, kod Novog Sada kretao se u opsegu od 20-65 mg/l (slika 4d). Najčešće su koncentracije povećane tokom zime (na početku i na kraju godine), dok su u toplijem delu godine niže. Poređenjem prosečnih godišnjih vrednosti, nisu uočene značajnije razlike tokom godina.

Sadržaj organskih materija u vodi Dunava kod Novog Sada praćen je na osnovu vrednosti utroška  $KMnO_4$ , biološke potrošnje kiseonika (BPK) i UV apsorbancije na 254 nm ( $UV_{254}$ ), a rezultati ovih merenja prikazani su na slici 5.

Uglavnom se sadržaj organskih materija kreće ispod 6 mg/l, izraženo preko utroška  $KMnO_4$  (slika 5a) i 5 mg  $O_2$ /l (slika 5b). Za 2018. godinu su dobijene nešto veće vrednosti, ali to je verovatno posledica različitog mesta uzorkovanja vode. Dunavsku vodu karakteriše nizak sadržaj UV apsorbujućih supstanci, što se ogleda u vrednostima ovog parametra koje su uglavnom u opsegu od 0,04  $cm^{-1}$ -0,12  $cm^{-1}$ .

### 3. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane vrednosti fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode reke Dunav kod Novog Sada u periodu od 2005-2018. godine, i to: temperatura, pH, elektroprovodljivost, sadržaj kiseonika, alkalitet, tvrdoća, zatim sadržaj ukupnog



gvožđa, mangana, kalcijuma, kalijuma, natrijuma, magnezijuma, azotnih materija (amonijačni azot, nitrati i nitriti), ukupnog fosfora i ortofosfata, hlorida, sulfata i organskih materija (permanganatni broj, BPK i UV<sub>254</sub>). Generalno posmatrano, prikazane vrednosti fizičko-hemijskih parametara kretale su se u granicama propisanih vrednosti za I i II klasu površinskih voda prema Uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rok za njihovo dostizanje (*Sl. glasnik RS br. 55/05, 71/05-ispravka, 101/07, 65/08 i 16/11*). Zabeležene su sezonske varijacije

u vrednostima ispitivanih parametara kvaliteta vode, bez značajnijih odstupanja od uobičajenog godišnjeg trenda u posmatranom periodu. Za potpuno određivanje klase površinske vode prikazane podatke potrebno je dopuniti podacima vezanim za sadržaj specifičnih organskih supstanci i metala, sa naglaskom na prioritetne i prioritetne hazardne supstance, kao i mikrobiološkim parametrima kvaliteta.

*Zahvalnost dugujemo Gradskoj upravi za zaštitu životne sredine Grada Novog Sada koje je finansiralo istraživanje kroz projekat VI-501-2/2018-18b-7.*

## LITERATURA

1. Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine, Republika Srbija. <http://www.sepa.gov.rs/>
2. Dalmacija, B., Bečelić-Tomin, M., Maletić, S., Agbaba, J. (Urednici) (2018) Mogućnosti održivog vodosnabdevanja i klimatske promene. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad.
3. ICPDR (2002) JOINT DANUBE SURVEY - Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River, (Eds.: Literáthy, P; Koller-Kreimel, V.; Liska, I.), Vienna, Austria.
4. ICPDR (2008) JOINT DANUBE SURVEY 2. – Final Scientific Report, (Eds.: Liska, I.; Wagner, F., Slobodnik, J.), Vienna, Austria.
5. ICPDR (2015) Joint Danube Survey 3 A Comprehensive Analysis of Danube Water Quality, (Eds: Liška I., Wagner F., Sengl M., Deutsch K. Slobodník J.)
6. „Sl. glasnik RS”, br. 3/2017. Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine.
7. Sommerwerk, N., Hein, T., Schneider-Jacoby, M., Baumgartner, C., Ostojic, A., Paunovic, M., Bloesch, J., Siber, R., and Tockner, K. 2009. The Danube river basin. In: Tockner, K., Robinson, C., and Uehlinger, U. (eds.), Rivers of Europe. Elsevier, London, pp. 59-112.
8. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rok za njihovo dostizanje (*Sl. glasnik RS br. 55/05, 71/05-ispravka, 101/07, 65/08 i 16/11*).